

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

Konstrukční návrh pohonné jednotky servisního  
robotu

Construction Design of a Driving Mechanism for a Service  
Robot

Student:  
Vedoucí bakalářské práce:

Jan Drahovzal  
Ing. Milan Mihola

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Drahovzal**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Konstrukční návrh pohonné jednotky servisního robota**  
**Construction Design of a Driving Mechanism for a Service Robot**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte podrobnou analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhnete možné varianty řešení a provedte jejich srovnání.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujte s využitím dostupných prostředků pro podporu konstruování. Navrhnete prostředky řízení.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

Kárník, L., Knoflíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.

Schraft, R.F., Volz, H. *Serviceroboter*. Springer – Verlag, Berlin, 1996.

TALÁCKO, J.- MATIČKA, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. Praha: ČVUT, 1995, 237 s., ISBN 80-01-01291-3.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Mihola**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



---

prof. Dr.Ing. Petr Novák  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. 5. 2010

.....

(podpis).

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2010

.....

Jan Drahovzal

Adresa trvalého pobytu:

Poděbradova 61a

Ostrava

702 00

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Drahovzal, J. *Konstrukční návrh pohonné jednotky servisního robotu*. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 41 s.

Bakalářská práce, vedoucí Mihola, M.

Bakalářská práce se zabývá řešením konstrukce pohonné jednotky servisního robotu schopné vyvinout krouticí moment 50 Nm. Součástí je přehled dostupných komponent a hotových řešení, návrh a výběr variant na základě hodnotové analýzy. K výsledné variantě je vytvořen sestavný výkres a 3D model v CAD systému Pro/ENGINEER. Obsahem práce je i kontrola namáhaných součástí a montážní postup celé jednotky.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

Drahovzal, J. *Construction Design of a Driving Mechanism for a Service Robot*. Ostrava: Department of Robotice, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 41 p. Bachelor thesis, head: Mihola, M.

Bachelor Thesis is dealing with design of a driving mechanism for a service robot able to evolve torque of 50 Nm. It includes overview of available components and finished solutions, the proposal of alternative solutions and selection of the optimal solution based on value analysis. The final version is involved to assembly drawing and 3D model in Pro/ENGINEER CAD software. The thesis also included the control of stressed components and assembly manual.

## Obsah

Obsah.....	7
Seznam použitých značek .....	9
Úvod.....	10
Požadavkový list .....	10
1. Analýza současného stavu řešené problematiky .....	11
1.1. Definice Pohonu.....	11
1.2. Motor.....	12
Asynchronní motor.....	13
Stejnoseměrný motor .....	14
Krokový motor .....	16
Bezkomutátorové motory .....	17
1.3. Převodovky robotů.....	18
1.3.1. Planetová převodovka.....	18
1.3.2. Harmonická převodovka [3].....	19
1.3.3. Cykloidní převodovka .....	20
1.4. Brzdy .....	21
2. Návrh variant řešení .....	23
2.1. Varianta I .....	23
2.2. Varianta II.....	25
2.3. Varianta III .....	27
3. Výběr optimální varianty – hodnotová analýza .....	28
4. Detailní rozpracování výsledné varianty.....	30
Konstrukce .....	30
Motor.....	31
Převodovka.....	32
Klidová brzda .....	32
Určení polohy, řízení.....	33

Návod k sestavení pohybové jednotky .....	34
Kontrolní výpočty .....	36
5. Závěr .....	37
6. Literatura, zdroje .....	38
Přílohy .....	40
Seznam obrázků .....	40
Seznam tabulek .....	41



## Seznam použitých značek

Symbol	Význam	Jednotky
$d$	průměr hřídele	mm
$t_l$	hloubka drážky pro pero v náboji	mm
$t$	hloubka drážky pro pero v hřídeli	mm
$M_k$	jmenovitý kroutící moment momentu	Nm
$M_D$	dynamický moment	Nm
$P_D$	dovolený tlak	MPa
$l'$	předběžná délka pera	mm
$l_{\min}$	minimální délka pera	mm
$l$	délka pera	mm
$R$	poloměr zaoblení pera	mm
$b$	šířka pera	mm

## Úvod

Každý pohyb robotu je souhrnem několika dílčích pohybů jednotlivých os, kloubů, či jiných vazeb, které jsou uváděny do pohybu právě pohonnou jednotkou.

Úkolem této práce je tedy poohlédnutí se za vhodností různých na trhu dostupných řešení, či jednotlivých komponent vhodných ke konstrukci jednotky použitelné v oblasti servisních robotů, tedy robotů, u kterých je kladen důraz na mobilitu, což silně ovlivňuje veškeré pohonné systémy, jejich konstrukci i možnosti napájení.

S těmito poznatky si práce dává za cíl konstrukční návrh vhodné nové pohonné jednotky pro robota Hercules, který byl vyvinut na Katedře robototechniky Vysoké školy báňské – Technické univerzitě Ostrava.

## Požadavkový list

Úkolem této práce je navrhnout pohonnou jednotku dle těchto požadavků:

- jmenovitý výstupní krouticí moment min. 50 Nm
- co nejnížší hmotnost, ideálně okolo 2 – 2,5 kg
- kompaktní rozměry z důvodu použití v kloubech ramene
- napájení stejnosměrným proudem o nízkém napětí z důvodu použití v servisním robotu
- brzda, která bude schopna brzdit, pokud nebude procházet proud



*Obr. 0-1 Robot Hercules*

# 1. Analýza současného stavu řešené problematiky

## 1.1. Definice Pohonu

Pohon je zařízení, které má na starosti přeměnu vstupní energie (elektrická, chemická, apod.) na mechanický pohyb. Pohonná jednotka se pak dále skládá z motoru, zařízení pro regulaci vstupní energie do motoru (řízení) a zařízení starající se o přenos mechanického pohybu z motoru k akčnímu členu (převodovka, transformační blok).

V souvislosti s uplatněním v průmyslových robotech a manipulátorech vyplynuly toto požadavky na pohony [5]:

- Plynulý bezrázový rozběh a brzdění
- Vysoká přesnost polohování
- Vysoká tuhost
- Kompaktní rozměry
- Nízká hmotnost
- Vhodné prostorové uspořádání
- Malý moment setrvačnosti

Požadavek na plynulý rozběh brzdění bez rázů je vyžadován hl. kvůli větší náchylnosti na kmitání při rázech, nutnosti dimenzovat celou konstrukci na větší síly a také na nutnost silnějších úchopů objektů manipulace a pracovních hlavic.

Přesnost polohování pohonné jednotky přímo ovlivňuje přesnost trajektorie a polohy koncových bodů. Závisí na kinematické struktuře, přesnosti použitých součástí, na přesnosti řízení, které pohonnou jednotku ovládá a také na schopnostech systému pro určení polohy. Při ovládání pohonu v souvislosti s řízením se rozlišují dva základní principy [3]:

- a) Řízení bez zpětné vazby (otevřený systém) – po dosažení určité souřadnicemi zadané polohy je pohon zastaven
- b) Řízení se zpětnou vazbou (uzavřený systém) – v tomto případě je neustále vyhodnocována poloha vzhledem k požadované poloze

Vysoká tuhost je důležitá nejen kvůli kmitání koncového bodu při pohybu a přesnosti trajektorie, ale také kvůli nutnosti udržet objekt manipulace v určité poloze i při práci, kdy mohou na objekt manipulace působit i jiné vnější síly.

Velikost, hmotnost a prostorové uspořádání jednotky má přímý dopad na kinematiku a dynamiku celého systému, pohonné jednotky by měly být zkonstruovány a umístěny tak, aby způsobovaly co nejmenší ohybové momenty navíc, např. pokud je jednotka příliš rozměrná a umístěná na boku kloubu, vykazuje velký klopný moment kolmým směrem vzhledem k ose otáčení.

Malý moment setrvačnosti ovlivňuje dynamiku rozběhů a brzdění, respektive zrychlení a zpomalení jednotky.

Kromě těchto požadavků mohou být požadovány i jiné specifické vlastnosti jako maximální rychlost a zrychlení jednotky, ale také požadavky vyplývající z prostředí, ve kterém bude pohonná jednotka pracovat, jako např. odolnost vůči vyšším teplotám (požární roboty), schopnost práce v prašném prostředí, v zamořeném prostředí (s tím souvisí patřičné zakrytování a v jeho souvislosti uchlazení jednotky), apod.

## **1.2. Motor**

Hlavním prvkem pohonné jednotky je motor, je to člen, který vyvolává samotnou přeměnu vstupní energie na mechanický pohyb.

Z hlediska vstupních energií rozlišujeme motory:

- Elektrické
- Tekutinové

Vzhledem k aplikaci pro servisní roboty se dále budu zabývat už pouze motory elektrickými. Výhody elektrických pohonů:

- Snadno dostupný zdroj energie (elektrická síť, baterie, palivové články v případě servisních robotů)
- Jednoduché vedení energie od zdroje k motoru
- Jednoduché napojení k řídicím prvkům
- Čistý provoz, jednoduchá údržba
- Nenáročné na prostor

Samozřejmě mají i své nevýhody:

- Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

- Velké požadavky na kvalitu všech součástí, zejména přesnosti připojených převodovek, transformačních bloků, apod.

### **Elektrické motory s rotačním výstupem**

- Rotační motory
- Rotační krokové motory
- Otočné elektromagnety

### **Elektrické motory s přímočarým výstupem**

- Lineární motory
- Lineární krokové motory
- Hybridní motory
- Přímočaré elektromagnety

## **Asynchronní motor**

Asynchronní motor je jedním z nejjednodušších typů elektromotorů. Mohou být v jednofázovém i třífázovém provedení.

### **Princip**

Základem činnosti asynchronního motoru je vytvoření točivého magnetického pole, které vznikne průchodem střídavého trojfázového proudu vinutím statoru. Toto magnetické pole indukuje v rotoru napětí a vzniklý proud vyvolává sílu otáčející rotorem.

Tento motor je, co se týče držení otáček, poměrně stálý. Otáčky jsou přímo závislé na frekvenci napájení a nepřímo závislé na počtu pólových dvojic uvnitř motoru. Vzhledem k této charakteristice motoru se pro řízení používají tyristorové nebo tranzistorové měniče.

Moment je rovněž poměrně stálý, nezávislý na napětí. Je úměrný druhé mocnině vstupního napětí.

## Výhody

- Výborná regulace rychlosti

## Nevýhody

- Špatná regulace polohy
- Napájení střídavým proudem → nevhodné pro aplikaci v servisních robotech, které vyžadují mobilitu



*Obr. 1.2-1 Asynchronní motor*

## **Stejnosměrný motor**

Stejnosměrné motory dělíme podle způsobu buzení na derivační, sériové, s cizím buzením.

Buzení derivačního motoru se při zatížení nemění, proto jsou i jeho otáčky téměř konstantní. Otáčky se řídí změnou budicího proudu.

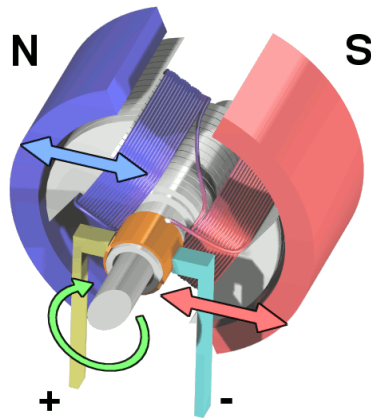
Sériový motor má rychlostní charakteristiku měkkou, neboť jeho otáčky jsou nepřímo úměrné zatížení stroje. Z těchto důvodů se výborně hodí pro elektrickou trakci, neboť při stoupání vyvíjí při malé rychlosti velký moment. Sériový motor se nesmí spouštět nezatížený.

Kompaundní motor má vlastnosti sériového i derivačního motoru za předpokladu, že magnetický tok obou vinutí má stejnou orientaci.

Motor s cizím buzením má budicí vinutí napájené z cizího říditelného zdroje, takže jeho otáčky můžeme řídit v širokém rozsahu a vůbec nejsou závislé na zatížení.

## Princip

Ve vnitřním magnetickém poli se nachází smyčka, kterou protéká proud. Ten indukuje magnetické pole, které je vždy orientováno stejně jako vnější magnetické pole; toho je dosaženo díky komutátoru, který změni směr proudu smyčkou pokaždé, kdy dojde k překlopení.



*Obr. 1.2-2 Stejnosměrný motor*

### **Provedení**

- Válcové
- Hrníčkové
- Diskové

### **Výhody**

- Výborná regulace rychlosti a polohy.

### **Nevýhody**

- Jiskření komutátoru – nesmí být používáno např. ve výbušném prostředí
- Opotřebení komutátoru
- Kolísání momentu při malých rychlostech.



*Obr. 1.2-3 Různé provedení stejnosměrných motorů*

## Krokový motor

Využívá se především tam, kde je potřebné řídit nejen otáčky, ale také konkrétní polohu rotoru. Používají se v přesné mechanice, regulační technice, robotice apod.

### Princip

Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Motor je schopný v této poloze stát a to, pokud krouticí moment vyvolaný magnetickým polem je větší než krouticí moment působící na hřídel motoru).

### Řízení

Dva druhy řízení – unipolární a bipolární. Princip unipolárního řízení spočívá v tom, že proud prochází v daném okamžiku právě jednou cívkou. Motor s tímto buzením má nejmenší odběr, ale poskytuje nejmenší krouticí moment

Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší krouticí moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby.

### Výhody

- Snadná řiditelnost i bez zpětné vazby

### Nevýhody

- Nízká hodnota  $\frac{M_m}{m}$



*Obr. 1.2-4 Krokový motor*



## Bezkomutátorové motory

### Princip

Rotor stroje je tvořen magnetem nebo elektromagnetem, stator, na nějž je přiveden střídavý proud, vytváří pulzní nebo častěji rotující magnetické pole.

### Výhody

- Delší životnost než komutátorové.
- Menší rozměry.

### Nevýhody

- Velmi drahé.



*Obr. 1.2-5 Bezkomutátorové motory*

### 1.3. Převodovky robotů

Převodovky slouží zejména k redukci otáček motoru a ke zvýšení točivého momentu.

Požadavky na převody [5]:

- Velmi malá vůle v řádech několika obloukových minut
- Vysoká účinnost, kolem 80-95%
- Velký převodový poměr, typické je (100 – 320) :1
- Nízká hmotnost
- Malé rozměry
- Vysoká tuhost

V této kapitole se budu věnovat převodovkám vhodným k aplikaci v pohonných jednotkách servisních robotů.

#### 1.3.1. Planetová převodovka

Planetová převodovka je tvořena centrálním kolem, satelity, unašečem satelitů a korunovým kolem. Centrální kolo, korunové kolo a unašeč satelitů mají společnou osu. Satelity jsou uloženy na unašeči a jsou v záběru v centrálním i korunovém kole. Spojením více planetových převodů dostaneme víceústupňovou planetovou převodovku.



*Obr. 1.3.1-1 Planetové převodovky*

#### **Princip**

Všechna kola jsou ve stálém záběru a přes satelity přenáší kroutící moment z centrálního kola na kolo korunové nebo naopak. Rychlostní stupně se řadí zabrzděním

nebo odbrzděním některé části převodovky. K brzdění jednotlivých částí se používají především lamelové spojky.

### Výhody

- Menší rozměry.
- Větší životnost než kola v klasické převodovce.
- Snadné dosažení velkého převodového poměru vzhledem k rozměrům.

### Nevýhody

- Dražší výroba oproti klasickým převodovkám.
- Složitější než klasická převodovka.

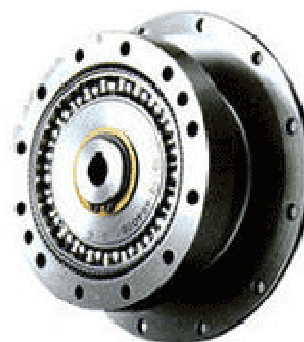
## **1.3.2. Harmonická převodovka [3]**

**Převodovka se skládá ze tří částí>**

- generátor vln
- pružný člen
- tuhý člen

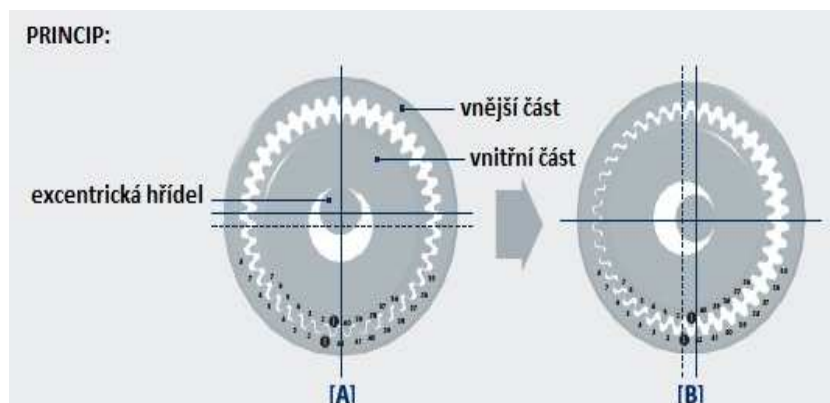
**Vlastnosti:**

- vysoká přesnost a opakovatelnost
- možnost přenášet vysoké krouticí momenty
- až 1/3 zubů v záběru
- účinnost okolo 85%
- minimální opotřebení a dlouhá životnost
- nejsou samosvorné – vstupní převod na kterékoliv straně
- poddajnost převodovek – problém s kmitáním



*Obr. 1.3.2-1 Harmonická převodovka*

- nízké momenty setrvačnosti
- kompaktnost
- převodový poměr v rozsahu 1:80 až 1:320



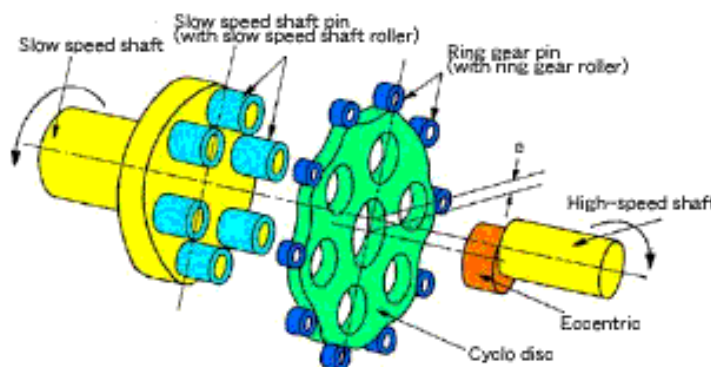
Obr. 1.3.2-2 Princip harmonické převodovky

### 1.3.3. Cykloidní převodovka

Cykloidní převodovky jsou založeny na podobném principu, jako harmonické, ovšem mají pružný člen, tedy netrpí na vibrace. Dosahují i vyšších účinností, bohužel ale při srovnatelné hmotnosti menších převodových poměrů.

**Vlastnosti [3]:**

- vysoká přesnost (vyšší než u harmonických)
- téměř neomezená životnost
- vysoká přetížitelnost
- vysoká účinnost – 94% (vyšší než u harmonických)
- vysoká tuhost (vyšší než u harmonických)
- malý moment setrvačnosti (nižší než u harmonických)
- malé rozměry i hmotnost
- tichý a klidný chod
- u vyráběných typů se převodový poměr pohybuje v rozmezí 1:9 až 1:85.



Obr. 1.3.3-1 Schéma cykloidní převodovky

## 1.4. Brzdy

Je více možností, jak brzdit pohyb jednotky. Velice časté je brzdění momentově pomocí motoru tím, že vytvoříme magnetické pole opačného směru, které tím pádem začne působit proti směru pohybu a zbrzdí kotvu. Dnešní řídicí jednotky jsou natolik vyspělé, že dokážou pouze na základně tohoto principu držet polohu v určité poloze.

Další možností je brzdění pomocí ovládané brzdy. K tomuto účelu jsou nejvhodnější brzdy fungující na elektromagnetickém principu. Při průchodem proudem se vytvoří pole, které přitáhne kotvu spojenou s brzdovými destičkami ke kotouči a vyvolá brzdny moment. Tyto brzdy jsou vhodné jako **brzdy provozní**, tedy pro zbrzdování a zastavování pohybu.

Brzda může také fungovat na inverzním principu, kdy brzdnu sílu vyvolávají stlačené pružiny, při průchodu elektrického proudu elektromagnety, působící proti pružinám, přitáhnou brzdové destičky k sobě a uvolní brzdový kotouč. Nejsou vhodné k brzdění pohybu, používají se hl. díky možnosti držet polohu, díky čemu jsou zajímavé pro robotiku, ale slouží také jako **bezpečnostní brzdy** pro případnou havárii a výpadek proudu. Používají se třeba i výtahy. Nevýhodou je vyšší spotřeba energie při provozu, kdy se kromě motoru musí trvale napájet i samotná brzda, což u mobilních robotů znamená nutnost více baterií, popř. kratší možný čas provozu, tyto brzdy bývají také díky pružinám rozměrnější a těžší, než klasické elektromagnetické provozní brzdy.

Brzda tedy vyžaduje velké množství energie pro elektromagnety, hl. pro momenty sepnutí/rozepnutí (dle typu), kdy množství proudu přímo ovlivňuje sílu magnetů a tím i čas, za který je schopna brzda zabrzdnout, popř. odbrzdnout. Často se proto pro napájení používá střídavého proudu, který je pro mobilní roboty nevhodný. Brzdy napájené stejnosměrným proudem o nízkém napětí se vyrábějí také, ale v poměrně malém měřítku, což se týče různorodosti výrobců a dostupných typů.

Z hlediska této práce a tedy jsou tedy zajímavé právě inverzní brzdy, které jsou napájeny stejnosměrně nízkým napětím, mají kompaktní rozměry a statický brzdny moment okolo 1-2 Nm.

## Inertia Dynamics

Jedná se o Americkou firmu, která má v nabídce i brzdy se slušným výkonem vážící pouze několik set gramů. Pro aplikaci v robotu Herkules by se mohlo jednat o brzdou **FSBR015** [9] (obr. 1.4-1), která disponuje brzdovým momentem 1.69 Nm a hmotností 0.34 kg. Problémem jsou nestandardní rozměry, které se řídí americkými normami, také neúplná výkresová dokumentace.

## Mayr

Mayr je německá firma vyrábějící brzdy pro průmyslové nasazení, bezpečnostní brzdy z jejich nabídky jsou schopny brzdit až do momentu 4 600 Nm. Z jejich nabídky by výkonem a rozměry připadala do úvahy brzda **ROBA-stop-M** [10] (obr. 1.4-2) ve své nejslabší verzi, schopné držet moment 2 Nm, bohužel při poměrně vysoké hmotnosti 0.8 kg. Z tohoto důvodu se pro nasazení v konkrétním robotu Herkules nehodí, což je škoda, výrobce má, jako jeden mála v této oblasti, přehledné stránky s dostupnými kompletními podrobnými technickými daty včetně 2D i 3D výkresových a modelových podkladů.

## Mavilor

Španělská firma zabývající se motory a jejich příslušenstvím od roku 1973. Z její nabídky vypadá zajímavě lehká, 0.3 kg vážící brzda **Rolivam FB-07** [11] (obr. 1.4-3) s brzdovým účinkem 1 Nm. Výkresová dokumentace zde opět není dostupná, pouze jednodušší nákresy s ne úplnými kótami, ovšem přehlednější, než v případě firmy Inertia Dynamics. Výhodou této jednotky je i to, že je tvořena pouze prstencem a uvnitř dutá, i z tohoto důvodu jsem ji nakonec volil ve výsledné variantě, dutina byla totiž vhodná k umístění čidla polohy.



Obr. 1.4-1 Brzda Inertia Dynamics FSBR015



Obr. 1.4-2 Brzda ROBA-stop-M



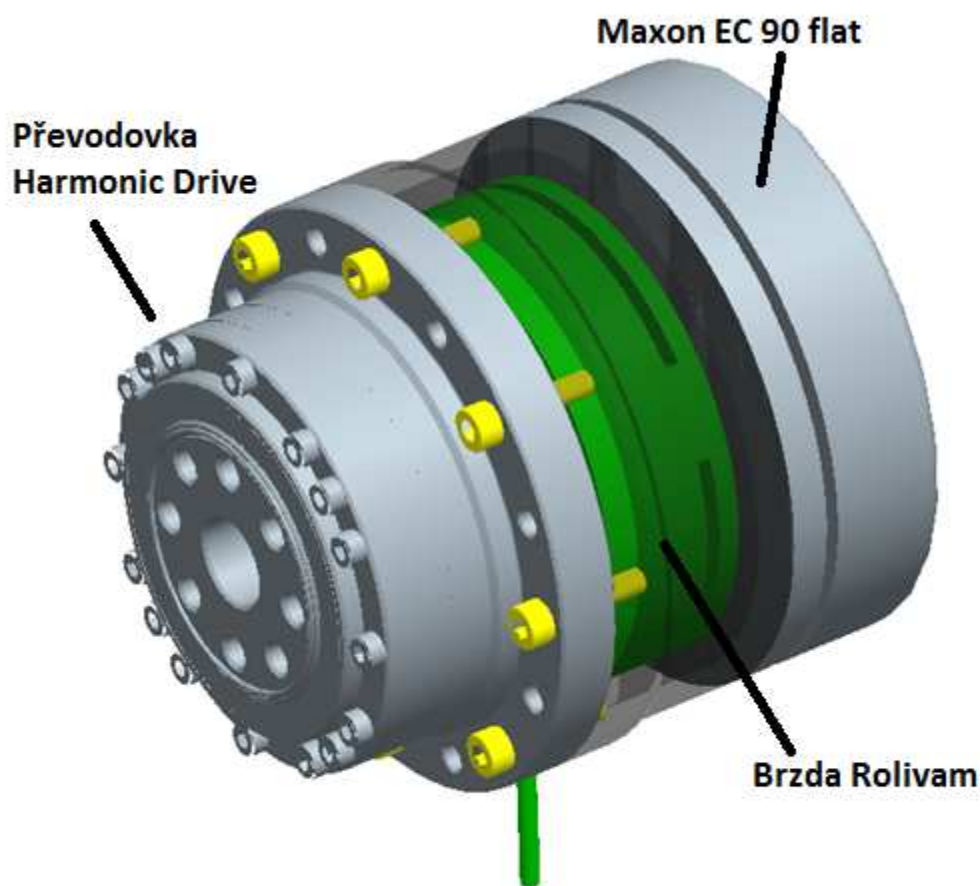
Obr. 1.4-3 Brzda Rolivam FB-07

## 2. Návrh variant řešení

### 2.1. Varianta I

Do první varianty byla zvolena zátěži vyhovující převodovka Harmonic Drive CSG-20-12O-2UH [12] v kombinaci s motorem Maxon EC 90 flat [13] a brzdou Rolivam FB-07 [11]. Toto přineslo velice kompaktní rozměry a nízkou hmotnost. Nevýhodou tohoto řešení je použití harmonické převodovky, což přináší náchylnost celé jednotky k vibracím a údajné problémy s řízením v současné aplikaci podobné harmonické převodovky v konstrukci dosavadní pohonné jednotky ramene.

Jednotka má v této variantě jmenovitý kroutící moment na výstupu 52 Nm a hmotnost 2,4kg. Délka jednotky je 100 mm, průměr 103 mm.



*Obr. 2.1-1 Varianta I*

### Motor Maxon EC 90 flat 90 W

Výkon	90 W
Max. otáčky	5 000 min <sup>-1</sup>
Vstupní napětí	48 V DC
Proud	2.12 A
Jmenovitý točivý moment	0.49 Nm
Moment setrvačnosti	3 kgcm <sup>2</sup>

Tab. 2.1-1 Parametry motoru Maxon EC 90 flat dle [13]

### Převodovka Harmonic Drive CSG-20-120-2UH

Převodový poměr	120
Jmenovitý výstupní kroutící moment	64 Nm
Maximální výstupní kroutící moment	113 Nm
Maximální vstupní otáčky	6 500 min <sup>-1</sup>
Moment setrvačnosti	0.193 x 10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>
Hmotnost	0.98 kg
Maximální axiální síla na výstupu	3 511 N
Maximální radiální síla na výstupu	2 354 N
Maximální klopný moment na výstupu	91 Nm

Tab. 2.1-2 Parametry převodovky CSG-20-120-2UH dle [12]

### Brzda Rolivam FB-07

Statický brzdný moment	1 Nm
Napětí	24 V DC
Max. budicí proud	10 A
Proud v odbrzděném stavu	2 A
Napětí v odbrzděném stavu	4.8 V
Doba sepnutí	150 ms
Teplovní rozsah použitelnosti	0 – 70 °C
Hmotnost	0.3 kg

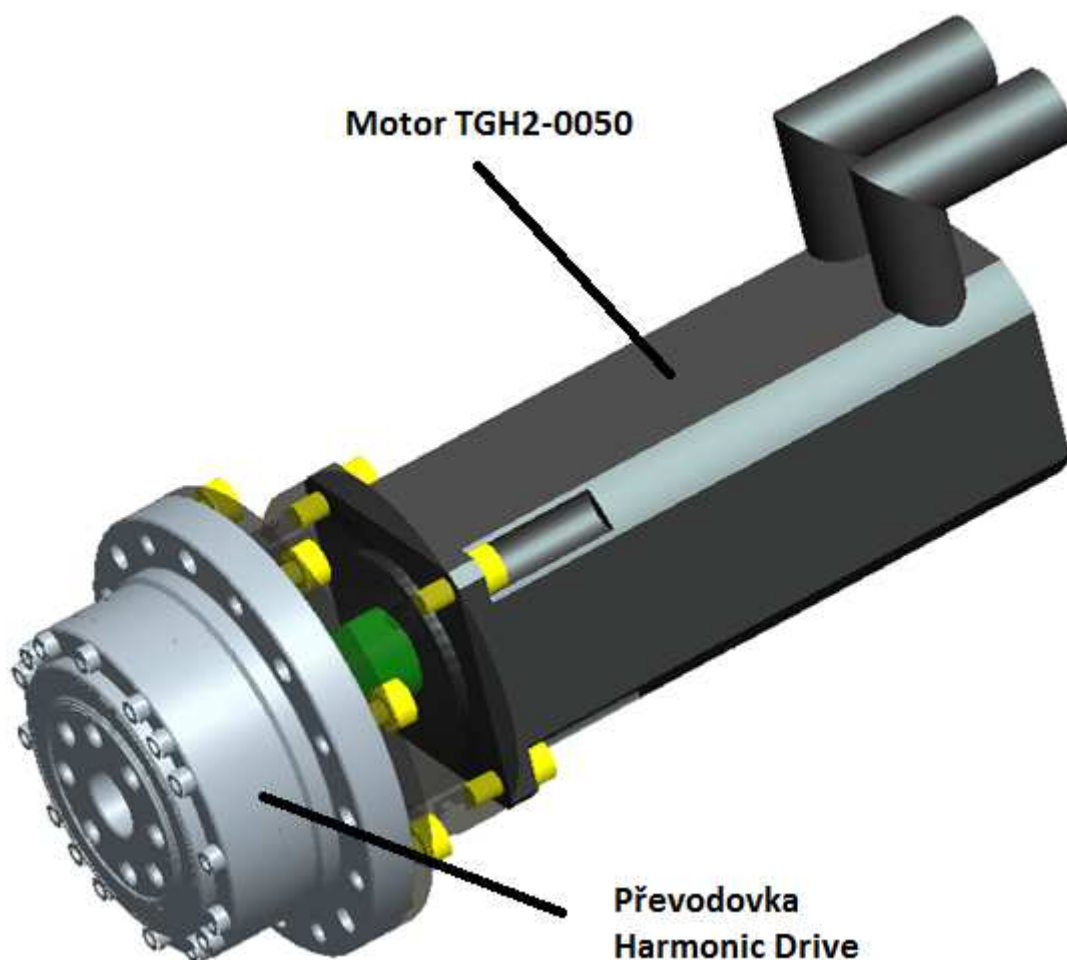
Tab. 2.1-3 Parametry brzdy Rolivam FB-07 dle [11]



## 2.2. Varianta II

Ve druhé variantě byla opět použita harmonická převodovka Harmonic Drive CSG-20-12O-2UH [12], ale místo motoru Maxon a rozměrově nestandardní brzdy byl zvolen servomotor společnosti TG Drives TGH02-0050 [14] s integrovanou brzdou v sobě. Jednotka je jmenovitě zatížitelná do 52 Nm (vzhledem k únosnosti převodovky) a má hmotnost 2,3 kg.

Nevýhodou jsou poměrně velké rozměry, jednotka je dlouhá 175 mm.



*Obr. 2.2-1 Varianta II*

Konstrukce je velmi jednoduchá, motor a převodovka jsou vzájemně přišroubovány k přírubě, uvnitř které přenáší točivý moment z motoru k převodovce redukční hřídel, vzhledem k rozdílnému průměru výstupní hřídele motoru a vstupní duté hřídele převodovky.

### Motor TGH2-0050 s integrovanou brzdou

Jmenovitý moment	0.49 Nm
Jmenovité otáčky	3 000 min <sup>-1</sup>
Max. otáčky	12 000 min <sup>-1</sup>
Výkon	153 W
Napětí	36 V DC
Jmenovitý proud	6.9 A
Max. proud	29 A
Moment setrvačnosti	0.08 kgcm <sup>2</sup>
Hmotnost s brzdou	1.1 kg
Brzdící moment klidové brzdy	2 Nm

*Tab. 2.2-1 Parametry motoru TGH2-0050 dle [14]*

### Převodovka Harmonic Drive CSG-20-12O-2UH

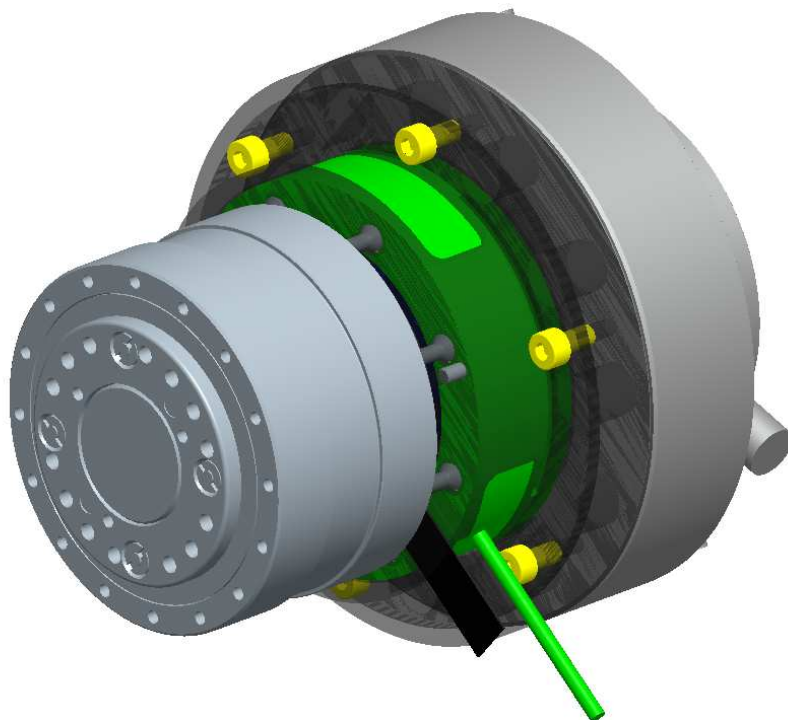
Převodový poměr	120
Jmenovitý výstupní krouticí moment	64 Nm
Maximální výstupní krouticí moment	113 Nm
Maximální vstupní otáčky	6 500 min <sup>-1</sup>
Moment setrvačnosti	0.193 x 10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>
Hmotnost	0.98 kg
Maximální axiální síla na výstupu	3 511 N
Maximální radiální síla na výstupu	2 354 N
Maximální klopný moment na výstupu	91 Nm

*Tab. 2.2-2 Parametry převodovky dle [12]*

### 2.3. Varianta III

Ve třetí variantě se stará o pohon diskový motor Hienzmann SL 100-2NFB 250W [15] v kombinaci s cykloidní převodovkou Twinspin TS 70 – 87 –TB [16], brzdou Rolivam FB-07 [11] a optickým čidlem polohy Numerik Jena Encoder Kit RS 39/10/1800 [17], který je z důvodu minimalizace rozměrů uložen dutině elektromagnetické brzdy.

Jednotka má jmenovitý kroutící moment 50 Nm, výstupní otáčky  $34.5 \text{ min}^{-1}$ , hmotnost 2.6 kg. Délka jednotky je 125mm a největší průměr 108 mm.



*Obr. 2.3-1 Varianta III*

Podrobnější popis viz Kapitola „4. Detailní rozpracování výsledné varianty“

### 3. Výběr optimální varianty – hodnotová analýza

Hodnotová analýza je postup, díky kterému vybereme optimální variantu. K jejímu provedení je třeba si zvolit kritéria a k nim přiřadit číselnou hodnotu podle bodové stupnice hodnocení.

#### Stupnice hodnocení:

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

*Tab. 3.1 Stupnice hodnocení*

#### Hodnocená kritéria (funkce):

K1	Hmotnost jednotky	(snaha přiblížit se 2 kg)
K2	Velikost jednotky	(co nejmenší, blíží se ideálně 10x10x10 cm)
K3	Problémy vyplývající z konstrukce	(náchylnost ke kmitání, problémy s řízením, apod.)
K4	Složitost konstrukce	(atypičnost rozměrových norem, počet dílů, apod.)

*Tab. 3.2 Přehled hodnocených kritérií*

#### Přiřazení číselných hodnot ke kritériím u jednotlivých variant:

	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4
<b>Varianta I</b>	5	5	3	4
<b>Varianta II</b>	6	3	3	6
<b>Varianta III</b>	5	4	6	5

*Tab. 3.3 Hodnocení kritérií*

### Metoda porovnávání párů:

Pomocí metody porovnávání párů (tab. 2) určíme váhy významnosti jednotlivých kritérií. Pomocí těchto vah významnosti a počtů bodů přiřazeným jednotlivým variantám můžeme spočítat konečný počet bodů jednotlivých variant (tab. 3) a tím zjistit, která je optimální. (Optimální varianta získá nejvyšší počet bodů.)

Porovnávané páry funkcí			Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
<b>F1</b>	F1	<b><u>F1</u></b>	2	2	1.66
F2	<b><u>F3</u></b>	<u>F4</u>			
	F2	<b><u>F2</u></b>	1	3	1.33
	<b><u>F3</u></b>	<u>F4</u>			
		<b><u>F3</u></b>	3	1	2
		F4			
		F4	0	4	1

Tab. 3.4 metoda porovnávání párů

Varianta	Body
<b>Varianta I</b>	24,95
<b>Varianta II</b>	25,95
<b>Varianta III</b>	<b>30,62</b>

Tab. 3.5 konečné obodování variant

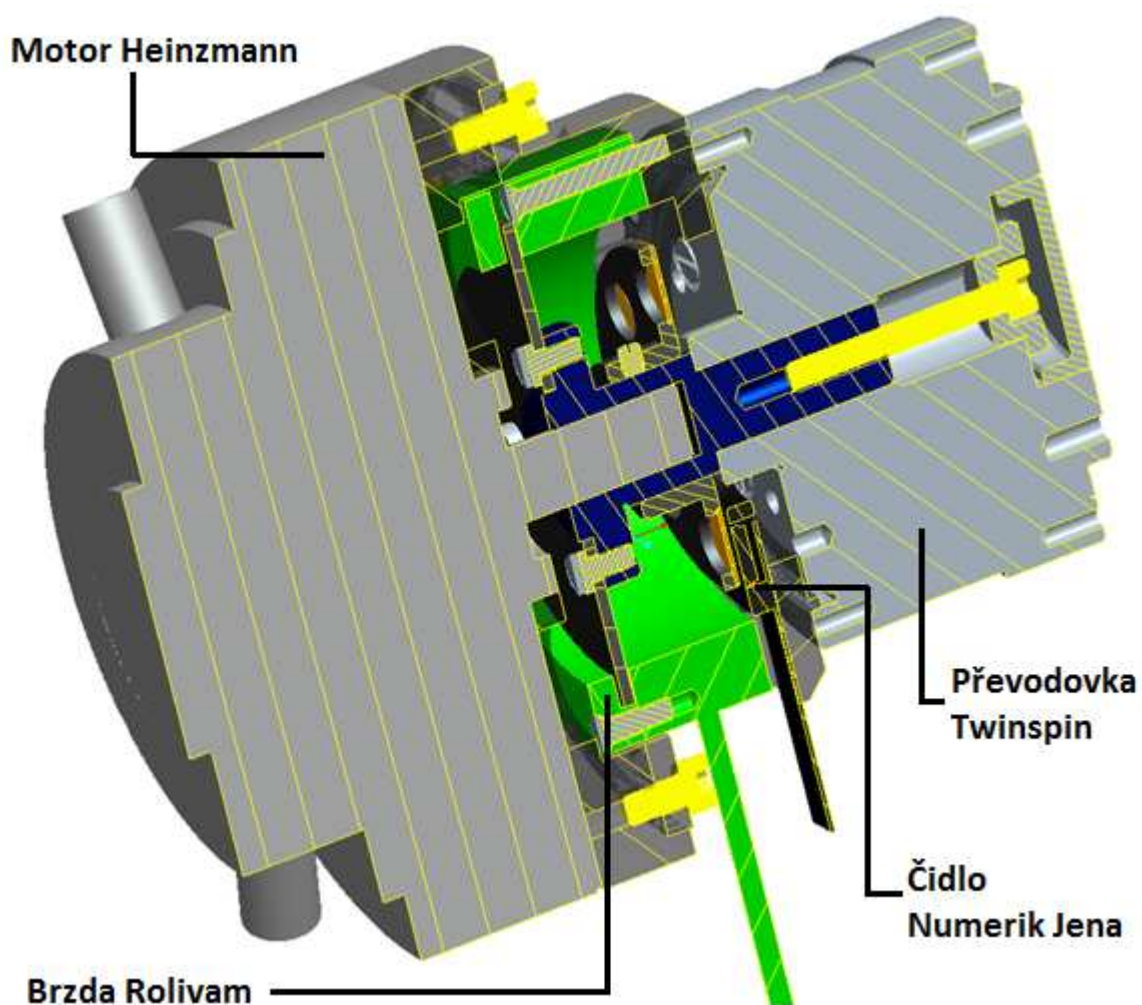
Z tabulky 3 vyplývá, že nejlepšího výsledku dosáhla varianta č. 3 s použitím cykloidní převodovky a diskového motoru Heinzmann.

## 4. Detailní rozpracování výsledné varianty

### Konstrukce

Tělo převodovky tvoří dvě k sobě přišroubované příruby, z nichž jedna je přišroubována k motoru a druhá k převodovce. K přírubě převodovky je přišroubován optický snímač polohy a tělo elektromagnetické brzdy.

Do vstupu převodovky je pak zasunuta redukce hřídele, proti pootočení je zajištěna perem a proti posuvu v ose pak, dle jednoho z návrhů výrobce převodovky, šroubem v ose převodovky. K této redukci je přimontován brzdící kotouč a unášec rozlišovacího kotouče systému pro určení polohy.



Obr. 4.1-1 Řez modelem [P6]

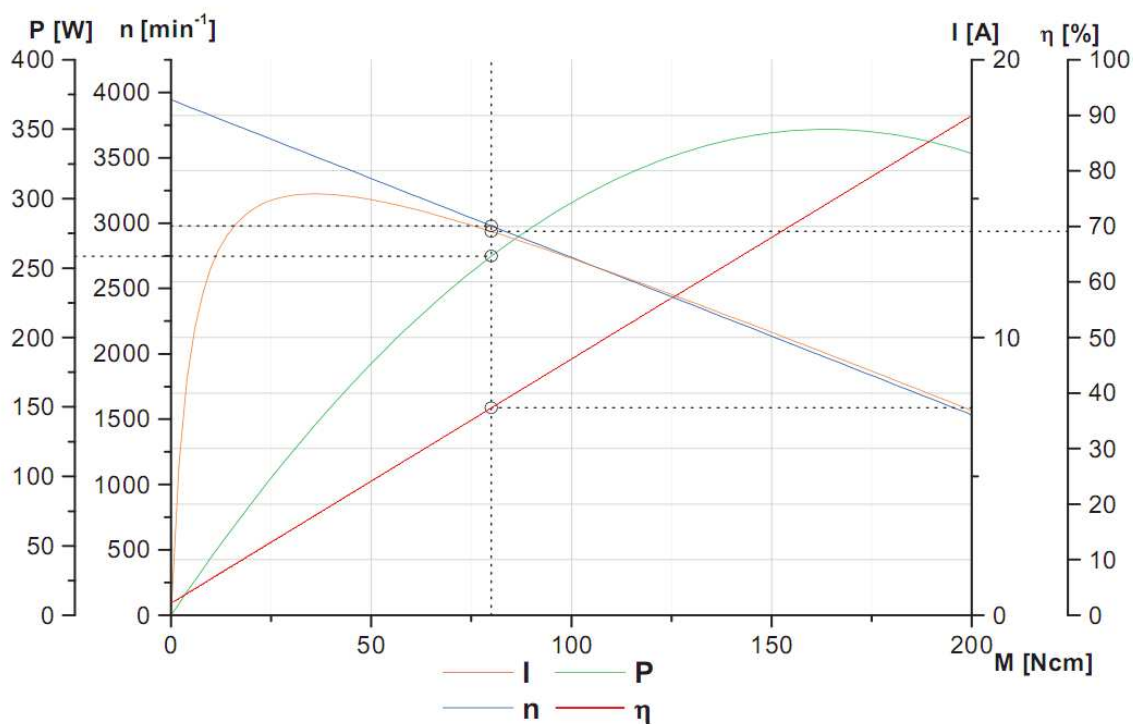
## Motor

V této variantě je použit stejnosměrný komutátorový diskový motor Heinzmann SL 100-2NFB ve své nejvýkonnější, 250W verzi.

### Parametry motoru

Výkon	250 W
Krouticí moment	0.8 Nm
Otáčky	3000 min <sup>-1</sup>
Napětí	48 V DC
Proud	7.5 A
Moment setrvačnosti	12.1 kg.cm <sup>2</sup>
Hmotnost	1,0 kg

Tab. 4.1 Parametry motoru Heinzmann SL 100-2NFB 250W dle [15]



Obr. 4.2 Graf závislosti výkonu, otáček, velikosti proudu, účinnosti na kroutícím momentu motoru dle [15]

## Převodovka

Jedná se o cykloidní převodovku Twinspin TS 70 – 87 – TB s integrovanými ložisky s kříženými válečky.

### Parametry převodovky

Převodový poměr	87
Jmenovitý výstupní moment	50 Nm
Maximální akcelerační / brzdový moment	100 Nm
Maximální moment při nouzovém zastavení	250 Nm
Maximální vstupní otáčky	5 000 min <sup>-1</sup>
Max. radiální zatížení	2 800 N
Max. axiální zatížení	4 100 N
Max. klopný moment na výstupním hřídeli	142 Nm
Max. klopný moment na vstupním hřídeli	10 Nm
Rozběhový moment naprázdno	0.08 Nm
Zpětný moment	5.5 Nm
Hmotnost	0.99 kg

Tab. 4.1 Parametry převodovky Twinspin TS 70 – 87 –TB dle [16]

## Klidová brzda

Pro držení polohy v klidu byla vybrána elektromagnetická brzda Rolivam FB-07. Standardně je brzda zabrzděna pomocí tlaku pružin na brzdový kotouč, při průchodu proudu se brzda odbrzdí.

### Parametry brzdy

Statický brzdny moment	1 Nm
Napětí	24 V DC
Max. budicí proud	10 A
Proud v odbrzděném stavu	2 A
Napětí v odbrzděném stavu	4.8 V
Doba sepnutí	150 ms
Teplotní rozsah použitelnosti	0 – 70 °C
Hmotnost	0.3 kg

Tab. 4.3 Parametry brzdy Rolivam FB-07 dle [11]



## Určení polohy, řízení

Jednotka je vybavena optickým čidlem polohy **Numerik Jena – RS 39/10/1800** [17] (obr. 4.4). Tento kit se skládá z hliníkového rozlišovacího kola a optického snímače s modulem pro montáž. Rozlišovací kolo vybraného typu má 1800 dílků na jednu otáčku. Kompletní specifikace jsou přiloženy formou přílohy [P5] .

Čidlo je umístěno společně s brzdou do prostoru mezi motor a převodovku. Čidlo je přimontováno pomocí výrobcem dodávaného modulu na tělo jednotky. Vzdálenost čidla a rozlišovacího kotouče by podle výrobce měla být 0.5 mm.

Kotouč je vzhledem k doporučení výrobce přilepen na unášec, který je nasazen na hřídel mezi motorem a převodovkou, unášec je proti posunu zajištěn stavěcím šroubem, po jehož povolení je také možno případné seřízení pomocí osového posunutí kotouče vůči hřídeli.

Toto čidlo komunikuje s řídicí jednotkou, která na základě momentové charakteristiky řídí motor. S ohledem na napájení motoru, brzdy, byla zvolena řídicí jednotka **maxon motor ADS 50/10** [18] (obr. 4.3), která je schopna řízení motorů do 50 V, 10 A (20 A max), má výstup na brzdou i vstup pro encoder.



Obr. 4.3 Řídicí jednotka ADS 50/10


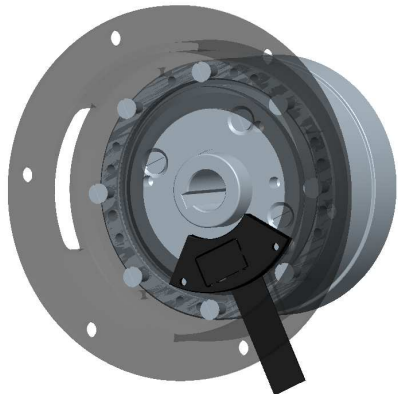
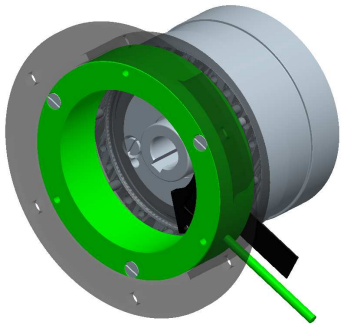
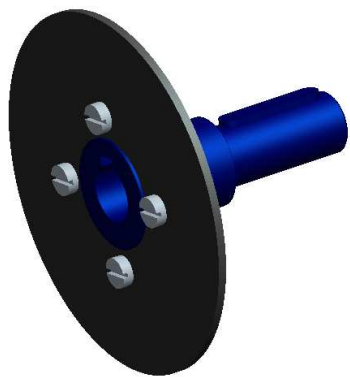


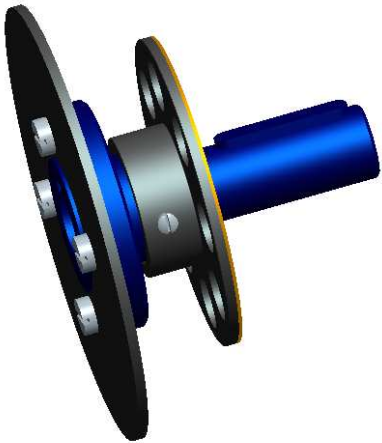
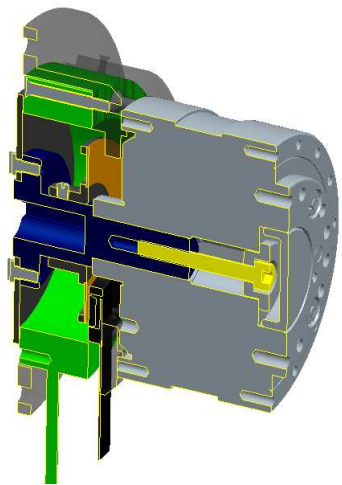
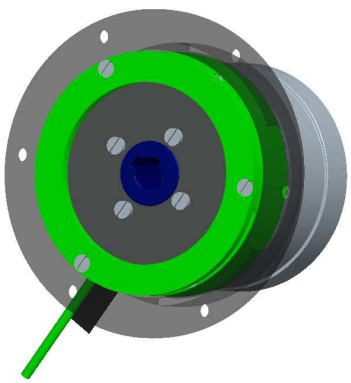
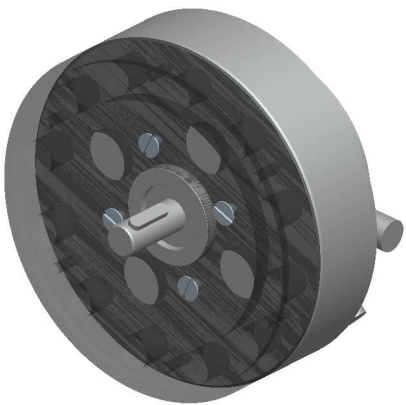
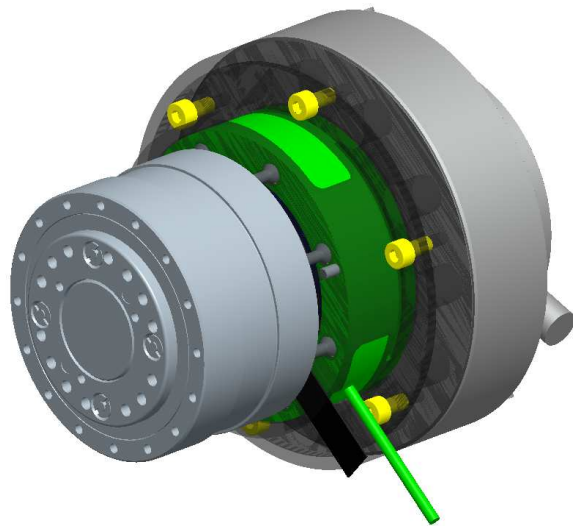
Obr. 4.4 Čidlo Numerik Jena

## Návod k sestavení pohybové jednotky

Konstrukce byla volena s ohledem na minimalizaci výsledných rozměrů, což si vzalo daň v podobě složitějšího sestavení. Předem je nutno demontovat elektromechanickou brzdu a celá jednotka musí být složena v určitém pořadí sledu operací.

Rovněž z důvodu miniaturizace je znemožněn přístup ke šroubu, kterým se nastavuje vzdálenost rozlišovacího kotouče od snímacího čidla. Celé nastavení polohy kotouče ve směru osy hřídele je možné pouze pokud se celá hřídel i s kotoučem úplně vyjme z jednotky. Operaci, kdy se nastavuje poloha kotouče, je tedy nutné přikládat obzvlášť velkou pozornost.

<p>Přišroubování čidla polohy k přírubě převodovky pomocí 2x M2.5 ČSN 02 1151 tak, aby byl kabel uložen ve své drážce v přírubě</p> 	<p>Přišroubování k převodovce pomocí 8x M3x10 ČSN 02 1151</p> 
<p>Přišroubování hlavní části brzdy (brzdu je nutno demontovat, viz výše) k celku pomocí 3x M3x22 ČSN 02 1151, kabel se protáhne jednou z odlehčujících děr</p> 	<p>K hřídeli se pomocí 4x M3x6 ČSN 02 1131 přišroubuje brzdový kotouč</p> 

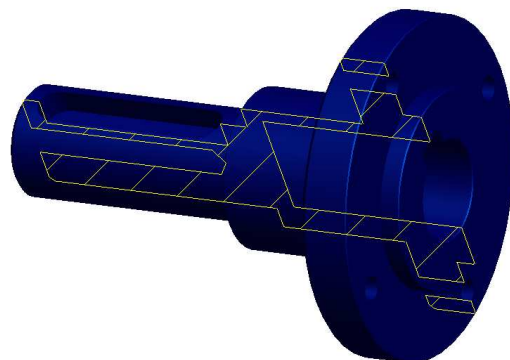
<p>K hřídeli se připevní také unášec s rozlišovacím kotoučem enkoderu a zajistí stavěcím šroubem M3x4 ČSN 02 1181. Zkusí se vložit do převodovky, vzdálenost kotouče od enkoderu by měla být 0.5 mm</p> 	<p>Hřídel se zasune do těla převodovky a proti posunutí v ose se zajistí šroubem M4x30 ČSN 02 1143, Výstup převodovky se zakryje zátkou</p> 
<p>Přišroubuje se druhá část těla brzdy pomocí 3ks M3x10 ČSN 02 1151</p> 	<p>K motoru se pomocí 4ks M4x12 ČSN 02 1151 přišroubuje příruba motoru</p> 
<p>Složíme obě poloviny k sobě a sešroubujeme pomocí 6ks M4x8 ČSN 02 1143.</p> 	

Tab. 4.4 Návod k sestavení pohonné jednotky

## Kontrolní výpočty

### Redukční hřídel

Hřídel byla pevnostně zkontrolována v programu MITCalc a vyhodnocena jako vyhovující. Výpočtová zpráva z MITCalcu je připojena formou přílohy [P3]. Materiál hřídele je ocel 11 434.



Obr. 4.5 redukční hřídel

### Kontrola pera

V konstrukci jsou použity 2 pera, obě jsou namáhána stejným točivým momentem a jsou takřka na stejném průměru. Pro oba průměry se užívají stejná pera 4x4, v tabulce uvádím výpočet pouze pro kratší z nich, které je i na menším průměru. Pokud bude pero vyhovovat, znamená to tedy, že bude vyhovovat i to druhé.

Vstupní hodnoty	Výpočet	Výstupní hodnoty
$d = 10 \text{ mm} \rightarrow \text{pero } 4 \times 4$ $R = 2 \text{ mm}$ $b = 4 \text{ mm}$ $t_1 = 1.6 \text{ mm}$ $t = 2.4 \text{ mm}$ $M_k = 0.8 \text{ Nm} = 800 \text{ Nmm}$ $P_D = 120 \text{ MPa} (11\ 600)$	<b>Návrh:</b> $P = \frac{M_k}{\left(\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}\right) \cdot t_1 \cdot l'}$ $l' = \frac{M_k}{\left(\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}\right) \cdot t_1 \cdot P_D}$ $l_{\min} = l' + 2 \cdot R = l' + b$	$l_{\min} = 4.71 \text{ mm}$
	<b>Kontrola:</b> $\text{Volím } l = 16 \text{ mm}$ $P = \frac{M_k}{\left(\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}\right) \cdot t_1 \cdot l} \leq P_D$	$P = 10.8 \text{ MPa} \leq P_D$ Navržené pero délky 16 mm <b>vyhovuje</b>

Tab. 4.5 Kontrola pera dle [8]

## 5. Závěr

Na základě požadavků byly navrženy varianty řešení a s pomocí hodnotové analýzy pak vybrána optimální varianta, která byla následně vypracována podrobněji.

Základ pohonné jednotky tvoří diskový motor Heinzmann, který je připojený k cykloidní převodovce Twinspin. Celá jednotka je jištěna inverzní elektromechanickou brzdou, která je zabrzděna pokud v ní neprochází proud. Pro potřeby řízení, které je uskutečněno řídící jednotkou od firmy Maxon, je přidán encoder s 1800 impulzy na otáčku motoru. Celá jednotka má hmotnost 2.6 kg, jmenovitý kroutící moment 50 Nm, největší průměr 108 mm a délku 127 mm.

Současně užívaná pohonná jednotka ramene servisního robotu Hercules trpí při měření proudovými výkyvy v závislosti na poloze jednotlivých částí harmonické převodovky. Tento problém by měla nově navržená varianta s použitím cykloidní převodovky namísto harmonické vyřešit, stejně jako absenci inverzní elektromagnetické brzdy v současném řešení.

Součástí práce je 3D model jednotky vytvořený v CAD systému Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 a výkresová dokumentace vytvořená v programu AutoCAD Mechanical 2009. Namáhaná redukce hřídele byla zkontrolována v programu MITCalc.

## 6. Literatura, zdroje

- [1] Kárník, L., Knoflíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
- [2] Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
- [3] Skařupa, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. VŠB-TUO, Ostrava, 2007, 260s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4] Schraft, R.F., Volz, H. *Serviceroboter*. Springer – Verlag, Berlin, 1996.
- [5] Talácko, J., Matička, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. Praha: ČVUT, 1995, 237 s. ISBN 80-01-01291-3.
- [8] Leinveber, J, Vávra, P. *Strojnické tabulky*. Albra, Úvaly, 2006, 914 s. ISBN 80-7361-033-7
- [6] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [7] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [8] Kaláb, K., *Části a mechanism strojů pro bakaláře: části spojovací*. VŠB-TUO, Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [9] Interia Dynamics Spring Applied Brakes [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <<http://www.idicb.com/sprappbk/FSBRrev.htm> >
- [10] Mayr Sicherheitbremsen, Aufzugbremsen und Bühnenbremsen[online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <<http://www.mayr.de/produkte/sicherheitsbremsen/> >
- [11] Mavilor Rolivam Brakes [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <[http://www.mavilor.es/pdf\\_products/brakes.pdf](http://www.mavilor.es/pdf_products/brakes.pdf)>
- [12] Harmonic drive quantum CSG Series Gearheads [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <<http://harmonicdrive.net/products/gearheads/csg-unit/>>
- [13] Maxon EC 90 flat [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <[http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets\\_external/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/Kata](http://shop.maxonmotor.com/maxon/assets_external/Katalog_neu/eshop/Downloads/Kata)

log\_PDF/maxon\_ec\_motor/EC-flat-programm/new/newpdf\_09/EC-90-flat-323772\_09\_EN\_199.pdf>

[14] TG drives Segmentové motory řady TGH2 a TGH3 [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <[http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user\\_upload/download/segmentove\\_servomotory\\_tgh/TGH2\\_3.pdf](http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user_upload/download/segmentove_servomotory_tgh/TGH2_3.pdf)>

[15] Heinzmann SL Disc Motors [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <<http://heinzmann.de/en/electric-drives/disc-motors-sl>>

[16] Twinspace catalog převodovek [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <[http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user\\_upload/download/cykloidni\\_prevodovky/kat\\_sk.pdf](http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user_upload/download/cykloidni_prevodovky/kat_sk.pdf)>

[17] Numerik Jena Encoder Kit R [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <[http://numerik.cycro-project.de/frontend/files.php4?dl\\_mg\\_id=24&file=dl\\_mg\\_1166013042.pdf](http://numerik.cycro-project.de/frontend/files.php4?dl_mg_id=24&file=dl_mg_1166013042.pdf)>

[18] Maxon ADS 50/10 – Návod na obsluhu [online]. [cit. 20. 5. 2010]. Dostupný na: <[http://www.uzimex.cz/soubory/20090529\\_ads50-10\\_cz.pdf](http://www.uzimex.cz/soubory/20090529_ads50-10_cz.pdf)>

## 7. Přílohy

- [P1] Výkresová dokumentace – sestavný výkres
- [P2] Výrobní výkresy navržených součástí – hřídel, příruba motoru a převodovky
- [P3] Kontrola hřídele v program MITCalc
- [P4] Přehled parametrů brzdy Rolivam FB-07
- [P5] Kompletní datasheet k čidlu řízení
- [P6] 3D model pohonné jednotky (CD)

## 8. Seznam obrázků

0-1	Robot Hercules
1.2-1	Asynchronní motor
1.2-2	Stejnoseměrný motor
1.2-3	Různé provedení stejnosměrných motorů
1.2-4	Krokový motor
1.2-5	Bezkomutátorové motory
1.3.1-1	Planetové převodovky
1.3.2-1	Harmonická převodovka
1.3.2-2	Princip harmonické převodovky
1.3.3-1	Schéma cykloidní převodovky
1.4-1 B	Brzda Inertia Dynamics FSBR015
1.4-2	Brzda ROBA-stop-M
1.4-3	Brzda Rolivam FB-07
2.1-1	Varianta I
2.2-1	Varianta II
2.3-1	Varianta III
4.1.-1	Řez modelem
4.2	Graf závislosti výkonu, otáček, velikosti proudu, účinnosti na kroutícím momentu motoru
4.3	Řídicí jednotka
4.4	Čidlo Numerik Jena
4.5	Redukční hřídel



## 9. Seznam tabulek

2.1-1	Parametry motoru Maxon EC 90 flat
2.1-2	Parametry převodovky CSG-20-120-2UH
2.1-3	Parametry brzdy Rolivam FB-07
2.2-1	Parametry motoru TGH2-0050
2.2-2	Parametry převodovky CSG-20-120-2UH
3.1	Stupnice hodnocení
3.2	Přehled hodnocených kritérií
3.3	Hodnocení kritérií
3.4	metoda porovnávání párů
3.5	konečné obodování variant
4.1	Parametry motoru Heinzmann SL 100-2NFB 250W
4.2	Parametry převodovky Twinspin TS 70 - 87 - TB
4.3	Parametry brzdy Rolivam FB-07
4.4	Návod k sestavení pohonné jednotky
4.5	Kontrola pera